

(45) Publication Date.: December 31, 2002

(11) Registration No.: 10-0366206

(24) Registration Date: December 12, 2002

(21) Application No.: 10-2000-0050622

(22) Filing Date: August 30, 2000

(65) Laid-open Pub. No.: Pat.2002-0017357

(43) Laid-open Pub. Date: March 7, 2002

(73) Patentee: KOREA ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

(72) Inventor: KIM, Yang Han

(54) SYSTEM AND METHOD FOR IMAGING NARROW-BAND NOISE, SYSTEM AND METHOD FOR MONITORING STATE OF TRANSPORT MACHINE USING THE SAME

Translation of abstract:

PURPOSE: A system and a method for imaging narrow-band noise, system and method for monitoring the state of a transport machine using the system and method are provided to visualize a moving noise source generating narrow-band noise and to monitor the state of the transport machine in real time in a non-contact state

CONSTITUTION: A narrow-band noise imaging system includes bottom and side microphone arrays (1, 3), a reference microphone (4), and a signal processor (8). The microphone arrays measure a sound pressure of narrow-band noise that is emitted from a transport machine. The reference microphone is attached to the transport machine to measure the spectrum of the entire band of the narrow-band noise and the spectrum of the center frequency of the noise. The signal processor calculates the ratio of the spectrum of the entire band to the spectrum of the center frequency and divides the sound pressure measured by the microphone arrays by a sound pressure according to the ratio to obtain noise hologram so as to image the noise.

BEST AVAILABLE COPY

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl. 7
G03H 3/00

(45) 공고일자 2002년12월31일
(11) 등록번호 10-0366206
(24) 등록일자 2002년12월12일

(21) 출원번호 10-2000-0050622
(22) 출원일자 2000년08월30일

(65) 공개번호 특2002-0017357
(43) 공개일자 2002년03월07일

(73) 특허권자 한국과학기술원
대전 유성구 구성동 373-1

(72) 발명자 김양한
대전광역시유성구구성동373-1한국과학기술원기계공학과

(74) 대리인 전영일

심사관 : 김희곤

(54) 협대역 소음을 영상화하는 시스템 및 방법, 및 이를이용하여 운송기계의 상태를 모니터링하는 시스템
과 방법

요약

본 발명은 이동하는 소음원으로부터 방사되는 협대역 소음의 홀로그램(hologram)을 이용하여 음향특성을 영상화하는 시스템 및 방법과, 이동하는 운송기계의 측면 및 하부 소음원에 대한 홀로그램을 측정하여 소음원의 변화 양상을 감지함으로써, 운송기계의 운전 중 비접촉 상태에서 운송기계를 진단 및 모니터링하는 시스템 및 방법에 관한 것이기도 하다.

본 발명에 따른 협대역 소음을 영상화하는 방법은, 기준 위치에서 소음원으로부터 방사되는 협대역 소음의 전체 대역(f_h)과 중심 주파수(f_{hc})에서의 스펙트럼을 구하는 제 1 단계와, 측정 위치에서 상기 소음원으로부터 방사되는 소음의 음압(p_m)을 측정하는 제 2 단계, 상기 협대역 소음의 전체 대역에서의 스펙트럼과 중심 주파수에서의 스펙트럼과의 비를 구하는 제 3 단계, 및 상기 제 2 단계에서 측정된 소음의 음압에서 상기 제 3 단계에서 구한 스펙트럼 비에 의한 음압을 나누어 협대역 소음의 홀로그램을 얻고 그것을 영상화하는 제 4 단계를 포함한다.

또한, 본 발명에 따른 운송기계의 상태 모니터링 시스템은, 운송기계가 지나가는 경로의 임의의 위치에 상기 운송기계의 하부면 및 측면으로부터 일정 거리만큼 이격되고, 각각의 면에 평행하게 설치되어 상기 운송기계로부터 방사되는 협대역 소음의 음압을 측정하는 하부면 및 측면 마이크로폰 어레이와; 상기 운송기계에 부착되어 상기 운송기계로부터 방사되는 협대역 소음의 전체 대역에서의 스펙트럼과 중심 주파수에서의 스펙트럼을 측정하는 기준 마이크로폰과; 상기 소음의 전체 대역에서의 스펙트럼과 중심 주파수에서의 스펙트럼과의 비를 구하고 상기 하부면 및 측면 마이크로폰 어레이에서 측정된 소음의 음압에서 상기 스펙트럼의 비에 의한 음압을 나누어 소음의 홀로그램을 구하여 영상화하는 신

호 처리수단과; 상기 운송기계의 정상상태와 비정상상태의 주행 중 소음지도를 저장한 저장수단과; 상기 운송기계의 소음의 홀로그램을 상기 저장수단에 저장된 소음지도에서 검색하여 상기 운송기계의 상태를 모니터링하는 검색수단을 포함한다.

대표도

도 4

색인어

홀로그램, 마이크로폰 어레이, 운송기계, 소음 영상화, 음향홀로그래피, 상태진단

명세서

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명을 설명하기 위하여 도시한 도면으로서, 이동하는 소음원면의 음압분포와 마이크로폰 어레이로 측정되는 홀로그램면의 음압분포와의 관계를 표현하는 상대 좌표계를 도시한 도면,

도 2는 본 발명을 설명하기 위하여 도시한 도면으로서, 평면파인 음장으로부터 홀로그램을 계산하는 방법을 도시한 도면,

도 3은 본 발명의 한 실시예에 따라 협대역 소음을 홀로그램화하는 과정을 주파수영역에서 표현한 도면,

도 4는 본 발명의 한 실시예에 따른 운송기계의 상태 모니터링 시스템을 도시한 구성도,

도 5는 도 4의 시스템을 이용하여 운송기계로부터 방사되는 협대역 소음을 영상화한 실험 결과를 도시한 도면이다.

※ 도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명 ※

1 : 하부면 마이크로폰 어레이 2 : 흡음재

3 : 측면 마이크로폰 어레이 4 : 기준 마이크로폰

5 : 광센서 6 : 다채널 신호 수집기

7 : 텔레메트리 8 : 디지털 신호처리기

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 이동하는 소음원으로부터 방사되는 소음의 홀로그램(hologram)을 이용하여 음향특성을 영상화하는 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 단일주파수뿐만 아니라 일정한 대역을 가지는 협대역 소음을 영상화하는 방법에 관한 것이다. 또한, 본 발명은 이동하는 운송기계의 측면 및 하부 소음원에 대한 홀로그램을 측정하여 소음원의 변화 양상을 감지함으로써, 운송기계의 운전 중 비접촉 상태에서 운송기계를 진단 및 모니터링하는 시스템 및 방법에 관한 것이기도 하다.

임의의 기준면(reference surface)에서의 음압(sound pressure)을 측정해서 음장의 홀로그램을 얻은 후에 음원에 관한 정보를 얻는 것은 민수산업이나 군수산업을 불문하고 다방면으로 활용되고 있는 것이다. 그러한 정보에는 음원의 원거리음장에서의 방향정보(a farfield directivity information)와 근거리음장에서의 벡터강도정보(a nearfield vector intensity information)와 표면속도정보(a surface velocity information) 및 총음강도정보(a total sound power information) 등이 있다.

위와 같이 구성된 음장의 홀로그램을 이용하여 음원의 위치 및 강도를 탐색하는 기술은 군수산업분야에서는 적군의 탐색을 위해 응용될 수 있으며, 민수산업분야에서는 소음원을 탐색하고 제거하거나 방음벽을 설치하는 데에 응용될 수 있다. 특히, 최근에는 환경권과 생활권에 대한 인식도가 높아지면서 그러한 소음원에 대한 정확한 정보를 입수해서 적절히 대처할 필요성이 커지고 있다.

이러한 음향의 홀로그래피에 관한 연구의 성과는 도처에 상당히 많이 축적되어 있으며, 그 중에서도 특히, 제이. 디. 메이나드(J. D. Maynard)와 이. 지. 윌리엄즈(E. G. Williams) 및 와이. 리(Y. Lee)의 1985년판 아메리카음향학회지 74권 4호의 1395 내지 1413면(Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 74, No. 4, pp1395-1413)에 게재된 "근거리음장에서의 음향홀로그래피(Nearfield acoustic holography : NAH)의 1. 일반홀로그래피이론 및 근거리음장에서의 음향홀로그래피의 개발(Theory of generalized holography and the development of NAH)"이라는 논문과, 제이. 디. 메이나드(J. D. Maynard)와 이. 지. 윌리엄즈(E. G. Williams)의 미국특허 제 4, 415,996호에 기재된 "파장무제한적 홀로그래픽음장구성(Nonwavelength-limited holographic sound field reconstruction)"의 내용과, 비 앤드 케이(BK)사에서 발행한 1989년 테크니컬리뷰 제 1 호(Technical Review No 1, 1989, BK publication)에 게재된 제이. 할드(J. Hald)의 "긴밀성에 무관한 주사식 근거리음장에서의 음향홀로그래피의 독특한 기술인 음장의 공간변환법(Method of Spatial Transformation of Sound Fields—a unique technique for scan-based near-field acoustic holography without restrictions on coherence)"이라는 논문 및, 로요(Loyau)와 제이. 씨. 파스칼(J. C. Pascal) 및 피. 게일라드(P. Gaillard)의 1988년판 아메리카음향학회지 84권 5호의 1744 내지 1750면(Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 84, No. 5, pp1744-1750)에 게재된 "음향강도측정치로부터 광대역음향홀로그래피구성(Broadband acoustic holography reconstruction from acoustic intensity measurement)"이라는 논문이 이 발명과 관련되어 있다.

여기에서 음향홀로그래피라고 함은 홀로그램면(hologram surface)이라고 불리는 기준면에서 홀로그램을 얻은 후에, 이러한 홀로그램을 분석하여 관심이 있는 모든 공간상의 임의의 위치에서의 음파의 특성, 즉, 거동을 예측하는 방법이다. 홀로그램면은 평면이나 원통면 또는 구면으로 정해질 수 있으며, 그러한 홀로그램면의 형태에 따라 평면음향홀로그래피(planar acoustic holography)와 원통면음향홀로그래피(cylindrical acoustic holography) 및 구면음향홀로그래피(spherical acoustic holography)로 구분된다.

평면음향홀로그래피는 무한한 평면상에서의 음압분포를 나타내는 홀로그램을 얻기 위한 것이므로, 이론상으로는 무한수의 측정점들에서의 음압을 측정해야 한다. 그러나, 실용상으로는 측정비용이나 시간상의 제한 등을 고려하여 유한수의 측정점들을 선정하고 그러한 측정점들에서 음압을 측정하여 홀로그램을 얻고 있다. 그렇게 얻어지는 홀로그램의 정확도는 측정점의 밀도, 즉, 측정점들의 간격의 크기에 의존하게 되며, 측정점들의 간격이 커질수록 홀로그램의 정확도가 현저하게 떨어진다. 정확도가 낮은 홀로그램에 의해 예측된 음장의 신뢰도가 실추되는 것은 당연하며, 때로는 심각한 오차를 유발할 수도 있다. 그러므로, 소요시간과 소요비용을 줄이면서도 정확도가 높은 홀로그램을 얻을 수 있게 함으로써 오차의 우려가 없이 신뢰도가 높은 음장예측을 가능하게 하려는 노력과 연구가 계속되고 있다.

위에서 제시된 1985년판 아메리카음향학회지에 발표된 논문에서는 다수의 마이크로폰으로 측정된 음압분포(홀로그램)를 이용하여 자유공간(free field) 내의 모든 위치에서의 음압, 입자속도, 음향 인텐시티, 및 음향 파워 등의 유용한 물리량을 예측해 낼 수 있다고 기술하였다. 그러나, 이 음향홀로그래피방법을 이동하는 운송기계에 적용하려면, 평면형 마이크로폰 어레이를 음원인 운송기계와 함께 이동시키면서 홀로그램을 측정하여야 하는 불편함이 따른다.

위의 음향홀로그래피방법은, 피. 라스무센(P. Rasmussen)과 에스. 가드(S. Gade) 및 비. 진(B. Ginn)에 의해 실제 적용되어, 1996년 제4회 소리와진동에 관한 국제학술대회(Proceedings of Fourth international congress on sound and vibration)에서 "움직이는 운송기에서의 타이어 잡음측정(Tyre noise measurement on a moving vehicle)"이라는 논문으로 발표되었다. 그러나, 이는 측정구경의 크기를 제한해야 하고, 바람에 의한 소음, 복잡한 측정장비로 인한 비용 증가 등의 문제점이 있다.

즉, 위에서 설명한 종래의 방법이 갖는 근본적인 한계는 마이크로폰과 음원간의 상대운동을 고려함이 없이 단순히 음압만을 측정하기 때문에 측정시간동안 마이크로폰과 음원이 정지되어 있을 경우에만 정확한 측정치를 얻을 수 있다는 것이다. 즉, 이동하는 음원에 대해서는 정확한 측정이 불가능했다. 또한, 고정된 음원에 대한 측정시에도 마이크로폰을 이동시키면서 측정하는 이른바 주사식 측정법(Scanning method for measuring)의 이용이 불가능했으므로, 측정에 많은 시간과 장비가 소요되었다.

한편, 이동 음원에 대한 가시화방법도 여러 가지로 시도되었는 바, 대표적인 예로써 더블유. 에프. 킹3세(W. F. King III)와 디. 버처트(D. Bechert)의 1979년 소리와진동지 66권의 311 내지 332면(Journal of sound and vibration, Vol. 66, pp.311-332)에 게재된 "고속 기차에서 발생하는 철로변 소음에 관하여(On the sources of wayside noise generated by high-speed trains)" 논문에서는 선형 마이크로폰 어레이 혹은 십자형이나 X자형 2차원 마이크로 어레이를 이용하는 방법이 소개되었다. 이는 일종의 빔 형성방법(beam forming method)으로 주로 고속전철 등에 적용되었다. 그러나, 이 방법은 가시화하고자 하는 평면에 가정된 음원들의 크기만을 표현하는 방법으로, 실제 음원에서 방사하는 소음의 전파 현상을 표현할 수 없는 단점이 있다.

한편, 이동 프레임에 관한 음향홀로그래피방법(Moving Frame Acoustic Holography, MFAH)으로서, 에이치. 에스. 쿼(H. S. Kwon)와 와이. 에이치. 김(Y. H. Kim)의 1998년판 아메리카음향학회지 103권의 1734 내지 1742면(Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 103, pp.1734-1742)에 게재된 "평면음향홀로그래피를 위한 이동 프레임 기술(Moving frame technique for planar acoustic holograph)"이라는 논문과, 대한민국 특허등록 제217827 호 "이동 음원의 홀로그램을 측정하여 음향 특성을 영상화하는 시스템 및 방법"이라는 특허에서는, 음원에 대하여 상대속도로 이동하는 마이크로폰 어레이, 즉, 음원이 이동하는 경우 지면에 고정된 선형 마이크로폰 어레이를 이용하여 음향 홀로그램을 측정하고 이를 이용하여 음원에서 방사되는 소음을 영상화하는 시스템 및 방법이 개시되었다.

그러나, 이러한 종래의 이동 프레임에 관한 음향홀로그래피방법(MFAH)은 단일 주파수만을 발생시키는 이동 소음원만을 가시화할 수 있었다. 따라서, 주파수 대역을 가지는 소음에 대한 영상화는 불가능한 문제점이 있었다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

상기와 같은 종래기술의 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 목적은, 단일 주파수뿐만 아니라 협대역 소음을 발생시키는 이동 소음원을 가시화하는 협대역 소음의 영상화시스템 및 방법을 제공하기 위한 것이다.

또한, 본 발명의 다른 목적은, 이동하는 운송기계의 소음원에 대한 홀로그램을 측정하여 그 운송기계의 상태를 실시간 비접촉 모니터링하는 시스템 및 방법을 제공하기 위한 것이기도 하다.

발명의 구성 및 작용

상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 협대역 소음을 영상화하는 시스템은, 운송기계가 지나가는 경로의 임의의 위치에 상기 운송기계의 하부면 및 측면으로부터 일정 거리만큼 이격되고, 각각의 면에 평행하게 설치되어 상기 운송기계로부터 방사되는 협대역 소음의 음압을 측정하는 하부면 및 측면 마이크로폰 어레이와,

상기 운송기계에 부착되어 상기 운송기계로부터 방사되는 협대역 소음의 전체 대역 및 중심 주파수에서의 스펙트럼을 측정하는 기준 마이크로폰과,

상기 소음의 전체 대역에서의 스펙트럼과 중심 주파수에서의 스펙트럼과의 비를 구하고 상기 하부면 및 측면 마이크로폰 어레이에서 측정된 소음의 음압에서 상기 스펙트럼의 비에 의한 음압을 나누어 소음의 홀로그램을 구하여 영상화하는 신호 처리수단을 포함한 것을 특징으로 한다.

또한, 본 발명의 한 실시예에 따른 협대역 소음을 영상화하는 방법은, 기준 위치에서 소음원으로부터 방사되는 협대역 소음의 전체 대역(f_h)과 중심 주파수(f_{hc})에서의 스펙트럼을 구하는 제 1 단계와,

측정 위치에서 상기 소음원으로부터 방사되는 소음의 음압(p_m)을 측정하는 제 2 단계,

상기 협대역 소음의 전체 대역에서의 스펙트럼과 중심 주파수에서의 스펙트럼과의 비를 구하는 제 3 단계, 및

상기 제 2 단계에서 측정된 소음의 음압에서 상기 제 3 단계에서 구한 스펙트럼 비에 의한 음압을 나누어 협대역 소음의 홀로그램을 얻고 그것을 영상화하는 제 4 단계를 포함한 것을 특징으로 한다.

또한, 본 발명에 따른 운송기계의 상태 모니터링 시스템은, 운송기계가 지나가는 경로의 임의의 위치에 상기 운송기계의 하부면 및 측면으로부터 일정 거리만큼 이격되고, 각각의 면에 평행하게 설치되어 상기 운송기계로부터 방사되는 협대역 소음의 음압을 측정하는 하부면 및 측면 마이크로폰 어레이와,

상기 운송기계에 부착되어 상기 운송기계로부터 방사되는 협대역 소음의 전체 대역에서의 스펙트럼과 중심 주파수에서의 스펙트럼을 측정하는 기준 마이크로폰과,

상기 소음의 전체 대역에서의 스펙트럼과 중심 주파수에서의 스펙트럼과의 비를 구하고 상기 하부면 및 측면 마이크로폰 어레이에서 측정된 소음의 음압에서 상기 스펙트럼의 비에 의한 음압을 나누어 소음의 홀로그램을 구하여 영상화하는 신호 처리수단과,

상기 운송기계의 정상상태와 비정상상태의 주행 중 소음지도를 저장한 저장수단과,

상기 운송기계의 소음의 홀로그램을 상기 저장수단에 저장된 소음지도에서 검색하여 상기 운송기계의 상태를 모니터링하는 검색수단을 포함한 것을 특징으로 한다.

또한, 본 발명에 따른 운송기계의 상태 모니터링 방법은, 데이터베이스 구축용 운송기계를 정상상태 및 비정상상태로 운행하면서 상기 운송기계에서 방사되는 소음의 홀로그램을 영상화하여 데이터베이스를 구축하는 제 1 단계와,

모니터링 대상인 운송기계가 운행 중에 방사하는 소음의 홀로그램을 영상화하는 제 2 단계와;

상기 모니터링 대상 운송기계의 소음 영상을 데이터베이스에서 검색하여 상기 운송기계의 상태를 진단하는 제 3 단계를 포함한 것을 특징으로 한다.

이하, 첨부된 도면을 참조하면서 본 발명의 한 실시예에 따른 "협대역 소음을 영상화하는 시스템과 방법, 및 이를 이용하여 운송기계의 상태를 모니터링하는 시스템과 방법"을 보다 상세하게 설명하기로 한다.

먼저, 협대역 소음의 영상화방법에 바탕이 되는 이론을 설명한다.

도 1은 본 발명을 설명하기 위하여 도시한 도면으로서, 이동하는 소음원면의 음압분포와 마이크로폰으로 측정되는 홀로그래프면의 음압분포와의 관계를 표현하는 상대좌표계를 도시한 도면이고, 도 2는 본 발명을 설명하기 위하여 도시한 도면으로서, 평면파인 음장으로부터 홀로그래프를 계산하는 방법을 도시한 도면이며, 도 3은 본 발명의 한 실시예에 따라 협대역 소음을 홀로그래프화하는 과정을 주파수영역에서 표현한 도면이다.

일반적으로 이동프레임 음향홀로그래피(MFAH)에서는 음원에 고정되어 음원의 이동을 표현하는 홀로그래프 좌표계((x_h, y_h, z_h))와 마이크로폰이 고정된 측정 좌표계((x_m, y_m, z_m))간의 상대좌표변환을 통하여 측정 음압에 도플러효과로서 표현된 음장정보인 홀로그래프를 얻는다.

이때, 마이크로폰과 음원간의 상대속도($u_{m/h}(t)$)는 $u_m(t) - u_h(t)$ 라 하고, 가속도에 의한 영향은 무시할 수 있을 만큼 작다고 가정한다. 음원이 이동하고 마이크로폰이 정지한 경우는 기준 좌표계(X, Y, Z)가 측정 좌표계((x_m, y_m, z_m))와 동일하므로, 기준 좌표계에서의 음압(p)은 측정 좌표계에서의 음압 p_m 으로 표현가능하며 이는 수학식 1과 같다.

수학식 1

$$p(X=0, Y, Z=z_H; t) = p_m(x_m=0, y_m, z_m=z_H; t)$$

따라서, 홀로그래프 좌표계에서의 음압(p_h)은 수학식 2의 상대좌표변환을 통해 수학식 3과 같이 얻어진다.

수학식 2

$$x_h = S_{m/h}(t) + x_m, y_h = y_m, z_h = z_m$$

여기서, $S_{m/h}(t) = \int_{-\infty}^t u_{m/h}(t) dt$ 이다.

수학식 3

$$p_m(0, y_m, z_H; t) = p_h(S_{m/h}(t), y_h, z_H; t)$$

이를 도 2에 도시된 바와 같은 평면파 음장에 적용할 경우, 임의의 평면에서 $z_h = z_H$ 이며, x 방향으로 진행하는 평면파는 수학식 4와 같이 표현된다.

수학식 4

$$p_h(x_h, y_h, z_H; t) = P_0 e^{ik_x x_h} e^{-i2\pi f t}$$

여기서, $P_0 e^{ik_x x_h}$ 는 홀로그래프로서, 공간상의 음압분포를 표현한다. 이러한 수학식 4를 살펴보면, 순음의 음장은 공간상의 정보(홀로그래프 $P_0 e^{ik_x x_h}$)와 시간상의 정보($e^{-i2\pi f t}$)의 곱으로 표현된다. 한편, 마이크로폰이 x 방향으로 $u_{m/h}(t) = u_m(t)$ 의 속도를 가지고 이동하는 경우, 마이크로폰에서 측정된 시간 신호에도 이와 같은 정보를 포함하며, 이는 도플러효과로서 표현된다. 부연 설명하면, 도플러효과는 음장의 형태에 따라 다른 형태로 표현되므로 도플러효과를 통해 음장을 역으로 유추할 수 있다. 위의 수학식 3과 수학식 4로부터 이동하는 마이크로폰에서 측정하는 시간 신호는 수학식 5와 같이 표현할 수 있다.

수학식 5

$$P_m(0, y_m, z_H; t) = P_h(S_{m/h}(t), y_h, z_H; t) \\ = P_0 e^{ik_{x0} S_{m/h}(t)} e^{-i2\pi f_{h0} t}$$

즉, 홀로그램은 주파수(f_{h0}) 및 상대좌표변환식($x_h = S_{m/h}(t)$)을 알면, 위의 식의 양변에 $e^{-i2\pi f_{h0} t}$ 를 곱하여 얻을 수 있으며, 이는 측정신호의 복소포락(complex envelope)으로 표현됨을 알 수 있다.

한편, 임의의 음장은 평면파의 중첩으로 표현할 수 있으므로, 그 결과는 임의의 단일 주파수 음장에 대해 확장 가능하다.

즉 $p_h(x_h, y_h, z_H; t) = p_h(x_h, y_h, z_H; f_{h0}) \times e^{-i2\pi f_{h0} t}$ 와 같이 표현되는 단일 주파수 음장의 경우, 측정 음압은 수학식 6과 같은 홀로그램은 수학식 5의 경우와 마찬가지로 측정 신호의 복소포락으로 얻을 수 있다.

수학식 6

$$P_h(S_{m/h}(t), y_h, z_H; t) = P_h(S_{m/h}(t), y_h, z_H; f_{h0}) \times e^{-i2\pi f_{h0} t}$$

지금까지의 이론을 토대로 협대역 소음을 영상화하는 이론을 설명한다. 도 3은 소음원이 대역 소음을 발생시키는 경우 MFAH 적용방법을 표현하고 있다. 소음원이 대역 소음을 발생시키는 경우, 그 대역폭이 중심주파수에 비해 10% 미만인 협대역 소음이면 MFAH를 이용하여 대역 소음의 홀로그램을 구할 수 있다. 협대역 소음의 중심주파수와 대역폭을 각각 f_{hc} 와 B 라고 하면, 음장은 수학식 7과 같이 표현된다.

수학식 7

$$P_h(x_h, y_h, z_H; t) = \int_{f_{h-}}^{f_{h+}} P_h(x_h, y_h, z_H; f_h) \times e^{-i2\pi f_h t} df_h$$

여기서, $f_{h-} = f_{hc} - B/2$, $f_{h+} = f_{hc} + B/2$ 이며, 소음이 비독립 음원(uncorrelated sources)에 의해 형성되었다면 음장은 수학식 8과 같이 모델링이 가능하다. 실제의 경우 이러한 협대역 소음만을 얻으려면 여파기(filter)를 이용한다.

수학식 8

$$P_h(x_h, y_h, z_H; f_h) \cong A(f_h) P_{nc}(x_h, y_h, z_H; f_{hc}) \quad (f_{h-} \leq f_h \leq f_{h+})$$

여기서, $A(f_h)$ 는 정규화된 음원 스펙트럼을 표현한다. 따라서, 위의 수학식 7은 아래의 수학식 9와 같이 표현할 수 있다.

수학식 9

$$P_h(x_h, y_h, z_H; t) \cong P_{nc}(x_h, y_h, z_H; f_{hc}) \times \int_{f_{h-}}^{f_{h+}} A(f_h) e^{-i2\pi f_h t} df_h$$

정규화된 음원 스펙트럼($A(f_h)$)은 음원에 고정된 기준 마이크로폰(reference microphone)으로부터 아래의 수학적식 10과 같이 얻을 수 있다.

수학적식 10

$$A(f_h) = P_{ref}(\bar{x}_{ref}; f_h) / P_{ref,z}(\bar{x}_{ref}; f_{hc})$$

여기서, $\bar{x}_q = (x_q, y_q, z_q; t)$ 는 기준 마이크로폰의 위치를 나타내며, $P_q(\bar{x}_q; f_h)$ 와 $P_q(\bar{x}_q; f_{hc})$ 는 각각 주파수 f_h 와 중심주파수 f_{hc} 에서의 스펙트럼을 표현한다. 따라서, 수학적식 9와 수학적식 10으로부터 협대역 소음의 음장은 아래의 수학적식 11과 같이 표현된다.

수학적식 11

$$\begin{aligned} P_n(x_n, y_n, z_n; t) &\cong P_n(x_n, y_n, z_n; f_{hc}) \times \frac{\int_{f_h} P_{ref}(\bar{x}_{ref}; f_h) e^{-12\alpha f_h} df_h}{P_{ref,z}(\bar{x}_{ref}; f_{hc})} \\ &= P_n(x_n, y_n, z_n; f_{hc}) \times \frac{P_{ref}(\bar{x}_{ref}; t)}{P_{ref,z}(\bar{x}_{ref}; f_{hc})} \end{aligned}$$

이 수학적식으로부터 협대역 소음도 공간정보를 표현하는 홀로그램과 시간정보를 표현하는 음원 스펙트럼의 곱의 형태로 표현되며, MFAH로 홀로그램을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 즉, 마이크로폰 어레이에서 얻은 측정신호는 수학적식 3과 수학적식 11로부터 아래의 수학적식 12와 같이 얻어진다.

수학적식 12

$$P_n(0, y_n, z_n; t) = P_n(x_n = S_{m/h}(t), y_n, z_n; f_{hc}) \times \frac{P_{ref}(\bar{x}_{ref}; t)}{P_{ref,z}(\bar{x}_{ref}; f_{hc})}$$

협대역 소음의 홀로그램(P_{hc})은 복소 측정신호(p_m)를 기준 마이크로폰신호($p_{ref} / P_{ref,c}$)로 나누면 얻을 수 있다.

도 4는 본 발명의 한 실시예에 따른 운송기계의 실시간 상태 모니터링시스템을 도시한 구성도이다. 본 발명에서는 지면에 평행하게 z축을 따라 설치된 하부면 마이크로폰 어레이(1)와, 운송기계의 하부에 설치되어 기준 음압을 발생하는 기준 마이크로폰(4) 포함하여 운송기계에서 방사되는 협대역 소음을 영상화한다.

이때, 하부면 마이크로폰 어레이(1)가 위치한 측정 좌표계에서 측정된 음압은 기준 마이크로폰(4)이 위치한 기준 좌표계에서의 음압과 수학적식 13과 같은 관계가 성립된다.

수학적식 13

$$P(X=0, Y=y_H, Z; t) = P_m(x_m=0, y_m=y_H, z_m; t)$$

또한, 소음원이 위치한 홀로그램 좌표계에서의 음압 p_h 는 수학적식 2의 상대좌표변환을 이용하면 수학적식 14와 같이 얻어진다.

수학적식 14

$$P_m(0, y_H, z_m; t) = P_h(S_{m/h}(t), y_H, z_h; t)$$

위의 수학적 식 14와, 운송기계의 측면에서 홀로그래프를 가시화하는 식인 수학적 식 3을 비교하면, y 와 z 좌표치만 서로 바뀌었을 뿐이다. 즉, 이러한 수학적 식 14를 도 1 내지 도 3의 이론에 적용하면 운송기계의 하부 소음원의 홀로그래프를 구할 수 있게 된다.

도 4를 참조하면, 본 발명에 따른 운송기계의 상태를 모니터링하는 시스템은, 운송기계가 지나가는 경로의 임의의 지점에 지면에 평행하게 z 축을 따라 설치된 하부면 마이크로폰 어레이(1)와, 하부면 마이크로폰 어레이(1)가 설치된 지면에 설치되어 소음원으로부터 방사되는 소음의 반사를 감소시키는 흡음재(2)와, 운송기계의 양측면과 평행하게 설치된 측면 마이크로폰 어레이(3)와, 운송기계의 하부에 설치되어 기준 음압을 측정하는 기준 마이크로폰(4)과, 운송기계의 차량 진입 및 탈출시각을 감지하여 운송기계의 마이크로폰 어레이(1)(3)에 대한 상대위치를 시간별로 측정하는 두 쌍의 광센서(5)와, 기준 마이크로폰(4)과 하부면 및 측면 마이크로폰 어레이(1)(3) 및 광센서(5)로부터의 신호들을 동시에 측정하는 다채널 신호 수집기(6), 기준 마이크로폰(4)과 하부면 및 측면 마이크로폰 어레이(1)(3)로부터의 신호의 동기를 맞추기 위한 동기신호의 무선 송수신 및 상기 기준 마이크로폰(4)에서 측정된 신호를 다채널 신호 수집기(6)로 무선 송신하는 텔레메트리(telemetry)(7), 및 상기 측정된 음압을 이용하여 방사 소음을 영상화하는 디지털 신호 처리기(8)를 포함한다.

여기서, 하부면 및 측면 마이크로폰 어레이(1)(3)의 마이크로폰 사이의 간격은 관심주파수 중 가장 높은 주파수의 파장의 1/4 정도로 설정하고, 광센서(5)는 가시화하고자 하는 홀로그래프의 구경 크기보다 크게 설정한다. 일반적으로 디지털 신호 처리기(8)는 개인용 컴퓨터에 설치되며, 전술한 협대역 소음 영상화 이론을 바탕으로 기준 마이크로폰 및 마이크로폰 어레이에서 측정한 음압신호로부터 방사 소음을 영상화한다.

상기와 같이 구성된 시스템을 이용하여 운송기계의 상태를 모니터링하는 방법을 설명하면 다음과 같다.

먼저, 각종 운송기계를 여러 속도로 정상상태 및 비정상상태에서 운행하면서 운송기계에서 방사되는 소음을 위에서 기술한 시스템을 통해 영상화한다. 영상화된 소음은 운송기계의 기하학적 형상을 표현한 영상과 오버랩시켜 운송기계 각부의 소음 방사를 표현하는 소음지도도를 생성한다. 부연하면 상기의 소음 영상도의 기준점과 축척을 운송기계 측면 및 하부의 기하학적 형상도의 기준점과 축척과 동일하게 설정하고, 이를 오버랩핑하는 과정을 수행한다. 이렇게 각종 운송기계에 대해 각각의 속도에 대해 정상상태 및 비정상상태에서 방사되는 소음지도도를 속도 및 주파수별로 데이터베이스로 구축하고, 컴퓨터에 저장한다.

그 후, 실제 모니터링 대상인 운송기계를 위에서 기술한 시스템에 적용하여, 운송기계에서 방사되는 소음을 실시간으로 영상화하여, 운송기계의 기하학적 형상과 오버랩한 소음지도도와 속도 및 주파수를 입력하여 검색된 소음지도도를 비교하여, 운송기계의 상태를 진단 및 모니터링한다.

도 5는 대역 소음에 대한 적용성을 검증하기 위하여 중심주파수를 450Hz로 고정시키고 대역폭을 (a) 10Hz, (b) 32Hz, (c) 100Hz로 변화시키면서 스피커에서 방사되는 음장의 홀로그래프를 측정하고, 음원면에서 예측한 결과를 도시하고 있다. 이때, 차량은 등속으로 이동하였으며 지면에 수직인 16개의 마이크로폰 어레이를 이용하였다. 즉, 세 가지 경우 모두 홀로그래프를 정확하게 측정함을 알 수 있다.

위에서 양호한 실시예에 근거하여 이 발명을 설명하였지만, 이러한 실시예는 이 발명을 제한하려는 것이 아니라 예시하려는 것이다. 이 발명이 속하는 분야의 숙련자에게는 이 발명의 기술사상을 벗어남이 없이 위 실시예에 대한 다양한 변화나 변경 또는 조절이 가능함이 자명할 것이다. 그러므로, 이 발명의 보호범위는 첨부된 청구범위에 의해서만 한정될 것이며, 위와 같은 변화예나 변경예 또는 조절예를 모두 포함하는 것으로 해석되어야 할 것이다.

발명의 효과

이상과 같이 본 발명에 의하면, 지면에 수직한 마이크로폰 어레이뿐만 아니라 수평한 마이크로폰 어레이를 이용하여 소음원이 노출된 운송기계의 하부 소음원을 시공간적으로 영상화할 수 있기 때문에, 운행 중에도 운송기계의 상태를 비접촉 및 실시간으로 진단할 수 있다. 특히, 소음원의 음압 분포 및 음향에너지의 전파현상을 영상화하는 방법을 사용하기 때문에 관련 전문가가 아니라도 운송기계의 비정상 작동상태를 파악할 수 있으며, 차량의 노후화에 따른 소음원 발생 및 변화 양상을 데이터베이스하는 데 이용함으로써, 소음 진동에 대한 내구성이 뛰어난 차량 개발에 크게 기여할 수 있다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

운송기계가 지나가는 경로의 임의의 위치에 상기 운송기계의 하부면 및 측면으로부터 일정 거리만큼 이격되고, 각각의 면에 평행하게 설치되어 상기 운송기계로부터 방사되는 협대역 소음의 음압을 측정하는 하부면 및 측면 마이크로폰 어레이와,

상기 운송기계에 부착되어 상기 운송기계로부터 방사되는 협대역 소음의 전체 대역에서의 스펙트럼과 중심 주파수에서의 스펙트럼을 측정하는 기준 마이크로폰과,

상기 소음의 전체 대역에서의 스펙트럼과 중심 주파수에서의 스펙트럼과의 비를 구하고 상기 하부면 및 측면 마이크로폰 어레이에서 측정된 소음의 음압에서 상기 스펙트럼의 비에 의한 음압을 나누어 소음의 홀로그램을 구하여 영상화하는 신호 처리수단을 포함한 것을 특징으로 하는 협대역 소음 영상화 시스템.

청구항 2.

제 1 항에 있어서,

상기 하부면 및 측면 마이크로폰 어레이의 마이크로폰 사이의 간격은 측정대상 주파수 중 가장 높은 주파수에 해당하는 파장의 1/4로 설정하는 것을 특징으로 하는 협대역 소음 영상화 시스템.

청구항 3.

기준 위치에서 소음원으로부터 방사되는 협대역 소음의 전체 대역(f_h)과 중심 주파수(f_{hc})에서의 스펙트럼을 구하는 제 1 단계와,

측정 위치에서 상기 소음원으로부터 방사되는 소음의 음압(p_m)을 측정하는 제 2 단계,

상기 협대역 소음의 전체 대역에서의 스펙트럼과 중심 주파수에서의 스펙트럼과의 비를 구하는 제 3 단계, 및

상기 제 2 단계에서 측정된 소음의 음압에서 상기 제 3 단계에서 구한 스펙트럼 비에 의한 음압을 나누어 협대역 소음의 홀로그램을 얻고 그것을 영상화하는 제 4 단계를 포함한 것을 특징으로 하는 협대역 소음 영상화 방법.

청구항 4.

운송기계가 지나가는 경로의 임의의 위치에 상기 운송기계의 하부면 및 측면으로부터 일정 거리만큼 이격되고, 각각의 면에 평행하게 설치되어 상기 운송기계로부터 방사되는 협대역 소음의 음압을 측정하는 하부면 및 측면 마이크로폰 어레이와,

상기 운송기계에 부착되어 상기 운송기계로부터 방사되는 협대역 소음의 전체 대역에서의 스펙트럼과 중심 주파수에서의 스펙트럼을 측정하는 기준 마이크로폰과,

상기 소음의 전체 대역에서의 스펙트럼과 중심 주파수에서의 스펙트럼과의 비를 구하고 상기 하부면 및 측면 마이크로폰 어레이에서 측정된 소음의 음압에서 상기 스펙트럼의 비에 의한 음압을 나누어 소음의 홀로그래를 구하여 영상화하는 신호 처리수단과,

상기 운송기계의 정상상태와 비정상상태의 주행 중 소음지도를 저장한 저장수단과,

상기 운송기계의 소음의 홀로그래를 상기 저장수단에 저장된 소음지도에서 검색하여 상기 운송기계의 상태를 모니터링하는 검색수단을 포함한 것을 특징으로 하는 운송기계의 상태 모니터링 시스템.

청구항 5.

제 4 항에 있어서,

상기 하부면 및 측면 마이크로폰 어레이의 마이크로폰 사이의 간격은 측정대상 주파수 중 가장 높은 주파수에 해당하는 파장의 1/4로 설정하는 것을 특징으로 하는 운송기계의 상태 모니터링 시스템.

청구항 6.

제 4 항에 있어서,

상기 하부면 마이크로폰 어레이가 설치된 지면에 설치되는 흡음재를 더 포함한 것을 특징으로 하는 운송기계의 상태 모니터링 시스템.

청구항 7.

제 4 항에 있어서,

상기 운송기계가 지나가는 경로의 임의의 위치에 설치되어 상기 운송기계의 진입 및 탈출시각을 측정하여 상기 신호 처리수단에 제공하는 한 쌍의 광센서를 더 포함하여, 상기 운송기계에 대한 상기 하부면 및 측면 마이크로폰 어레이의 상대위치를 측정하도록 하는 것을 특징으로 하는 운송기계의 상태 모니터링 시스템.

청구항 8.

제 7 항에 있어서,

상기 한 쌍의 광센서는 가시화하고자 하는 홀로그래의 구경 크기보다 큰 것을 특징으로 하는 운송기계의 상태 모니터링 시스템.

청구항 9.

제 4 항에 있어서,

상기 기준 마이크로폰에서 측정된 신호와 하부면 및 측면 마이크로폰 어레이에서 측정된 신호를 동기화하기 위한 동기화신호와 상기 기준 마이크로폰에서 측정된 신호를 무선 송수신하여 상기 신호 처리수단에 제공하는 텔레메트리를 더 포함한 것을 특징으로 하는 운송기계의 상태 모니터링 시스템.

청구항 10.

데이터베이스 구축용 운송기계를 속도를 변화시키면서 정상상태 및 비정상상태로 운행하면서 상기 운송기계에서 방사되는 소음의 홀로그래를 주파수별로 영상화하여 데이터베이스를 구축하는 제 1 단계와,

모니터링 대상인 운송기계가 운행 중에 방사하는 소음의 홀로그램을 영상화하는 제 2 단계와;

상기 모니터링 대상 운송기계의 소음 영상을 데이터베이스에서 검색하여 상기 운송기계의 상태를 진단하는 제 3 단계를 포함한 것을 특징으로 하는 운송기계의 상태 모니터링 방법.

청구항 11.

제 10 항에 있어서,

상기 제 1 단계는, 상기 데이터베이스 구축용 운송기계에 대하여, 기준 위치에서 소음원으로부터 방사되는 협대역 소음의 전체 대역(f_h)과 중심 주파수(f_{hc})에서의 스펙트럼의 비를 구하고, 측정 위치에서 측정된 상기 소음원으로부터 방사되는 소음의 음압(p_m)을 상기 스펙트럼의 비에 의한 음압으로 나누어, 상기 데이터베이스 구축용 운송기계에서 방사되는 소음의 홀로그램을 영상화하는 것을 특징으로 하는 운송기계의 상태 모니터링 방법.

청구항 12.

제 10 항에 있어서,

상기 제 2 단계는, 상기 모니터링 대상인 운송기계에 대하여, 기준 위치에서 소음원으로부터 방사되는 협대역 소음의 전체 대역(f_h)과 중심 주파수(f_{hc})에서의 스펙트럼의 비를 구하고, 측정 위치에서 측정된 상기 소음원으로부터 방사되는 소음의 음압(p_m)을 상기 스펙트럼의 비에 의한 음압으로 나누어, 상기 모니터링 대상인 운송기계에서 방사되는 소음의 홀로그램을 영상화하는 것을 특징으로 하는 운송기계의 상태 모니터링 방법.

청구항 13.

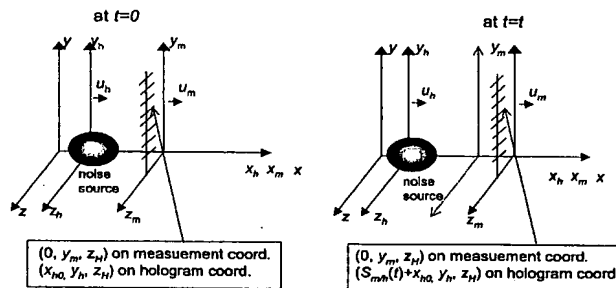
제 10 항 내지 제 12 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제 1 단계는 상기 데이터베이스 구축용 운송기계에서 방사되는 소음을 상기 데이터베이스 구축용 운송기계의 기하학적 영상과 오버랩시켜 운송기계 각부의 소음 방사를 표현하는 소음지도를 생성하여 데이터베이스화하고,

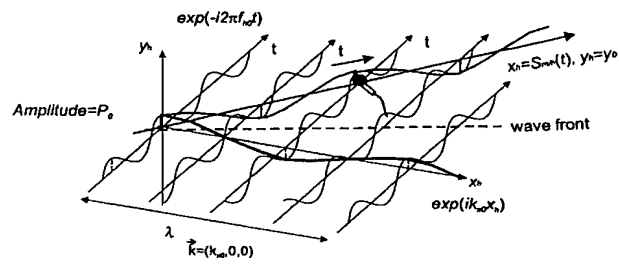
상기 제 2 단계는 상기 모니터링 대상인 운송기계가 운행 중에 방사하는 소음의 홀로그램과 상기 운송기계의 기하학적 영상을 오버랩한 소음지도와 속도 및 주파수를 상기 데이터베이스에 질의하여 상기 모니터링 대상인 운송기계의 상태를 진단 및 모니터링하는 것을 특징으로 하는 운송기계의 상태 모니터링 방법.

도면

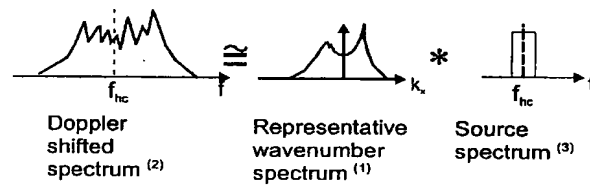
도면 1



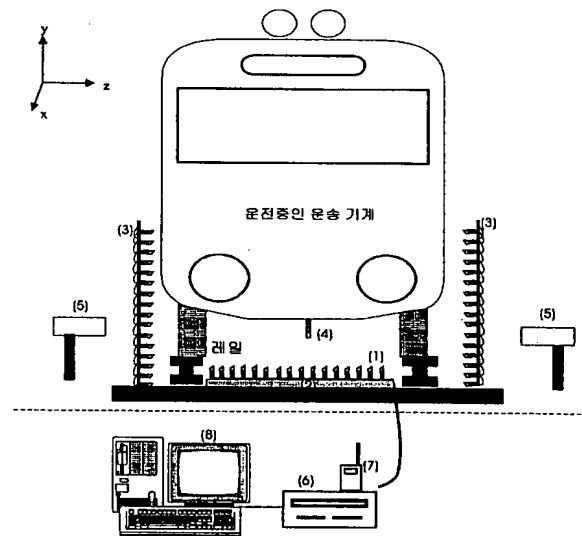
도면 2



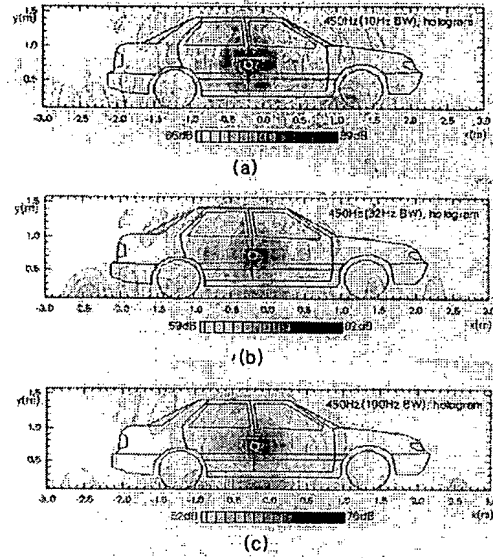
도면 3



도면 4



도면 5



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.